

ЛИТЕРАТУРА

1. Land C. E., Thacher P. D., Haertling G. H. Electrooptic ceramics.— Appl. Sol. St. Sci., 1974, vol. 4, p. 137.
2. Catchen J. T., Harris J. O., Laguna G. R. PLZT Electrooptic Shutters: Applications.— Appl. Optics, 1975, vol. 14, N 8, p. 1866.
3. Land C. E., Schueler D. G. Multiremanent Ferroelectric Ceramic Optical Devices.— USA Pat. N 3531182, 1970.
4. Cooper R. W. Improvements in or Relating to Display Devices.— GB Pat. N 1465675, 1977.
5. Baerwald H. G. Two-Dimensional Analysis of Gap Fields in Electronic High-Dielectric Layers and Application to the Design of Polariseroptic Devices.— SC — RR — 69—85. Sandia Lab. Res. Report, 1969.
6. Клотиньш Э. Э., Круминь А. Э., Ауза В. Я. и др. Распределение электрического поля в электрооптическом модуляторе света с планарными электродами.— Учен. записки Латв. гос. ун-та. Т. 230. Электрооптическая керамика. Рига, изд. ЛатвГУ, 1975.
7. Лаврик В. П., Савенков В. Н. Справочник по конформным отображениям. Киев, Наукова думка, 1970.
8. Миролюбов Н. Н., Костенко М. В., Левинштейн М. Л., Тиходсев Н. Н. Методы расчета электростатических полей. М., Высшая школа, 1963.
9. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М., Наука, 1978.

*Поступила в редакцию 19 февраля 1979 г.;
окончательный вариант — 20 июня 1979 г.*

УДК 537.533.3

Ю. В. БОНДАРЕНКО, А. М. ИСКОЛЬДСКИЙ
(Новосибирск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННО-ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С СЕТОЧНЫМ ЗАТВОРОМ

Параллельно исследованию предельных возможностей специализированных электронно-оптических преобразователей (ЭОП) типа ЗИМ для кадровой съемки [1, 2] проводилось исследование универсальных приборов, способных работать в кадровом (многокадровом) и хронографическом режимах. Типичным представителем таких приборов является ЭОП типа ЗИС-1 [3, 4], схема которого приведена на рис. 1. Этот прибор имеет одну пару отклоняющих пластин, предназначенных для развертки изображения, и мелкоструктурную сетку, расположенную на малом расстоянии ($\sim 0,5$ мм) от фотокатода и служащую электронным затвором. Существенное преимущество конструкции такого типа при работе в кадровом режиме по сравнению с ЭОП типа ЗИМ и бипланарными приборами заключается в небольшой (порядка сотни вольт) амплитуде управляющего импульса.

Предполагалось, что основным фактором, ограничивающим динамический диапазон ЗИС и препятствующим достижению длительностей экспозиции $\tau_{\text{эксп}} < 10^{-8}$ с, является влияние пространственного заряда. Поверхностное сопротивление фотокатода, казалось, не должно было ограничивать динамический диапазон приборов такого типа и ухудшать качество изображения по следующим соображениям. Во-первых, напряженность электрического поля вблизи фотокатода оказывается значительной, поскольку промежуток фотокатод—сетка мал (при амплитуде управляющего импульса 200 В напряженность поля в ЗИС составляет 4 кВ/см, в то время как в ЗИМ она равна 430 В/см при $U_a = 10$ кВ). Во-вторых, возмущающее поле, возникающее из-за распределения потенциала на поверхностном сопротивлении фотокатода, спадает очень быстро в направлении движения электронов (до нуля в плоскости сетки, поскольку проводимость сетки хорошая).

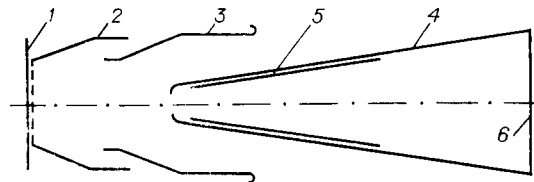


Рис. 1. Схема электронно-оптического преобразователя ЗИС-1:

1 — фотокатод, 2 — управляющая сетка, 3 — подфокусирующий электрод, 4 — анод, 5 — отклоняющие пластины, 6 — экран.

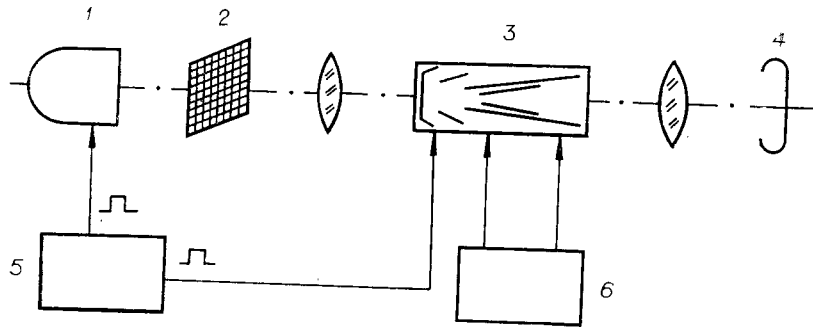


Рис. 2. Схема эксперимента:
 1 — импульсный источник света, 2 — тест-объект, 3 — ЭОП типа ЗИС, 4 — фотоприставка, 5 — генератор затворных импульсов, 6 — источник постоянного напряжения.

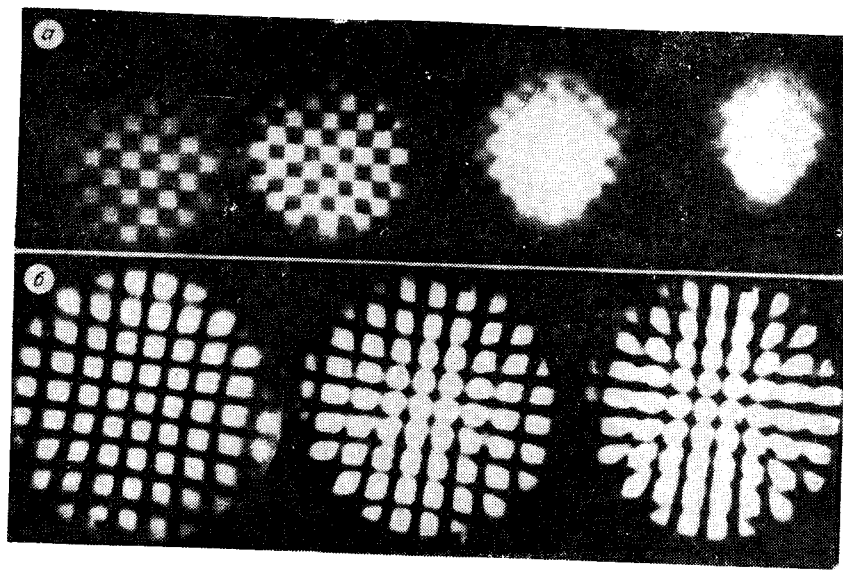


Рис. 3. Влияние световой загрузки на качество изображения:
 а — ЗИС-1; б — ЗИМ с малым поверхностным сопротивлением фотокатода.

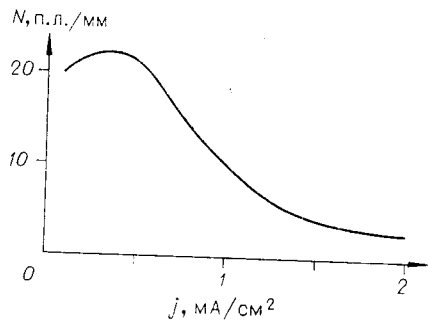


Рис. 4. Зависимость разрешающей способности ЗИС от плотности фототока.

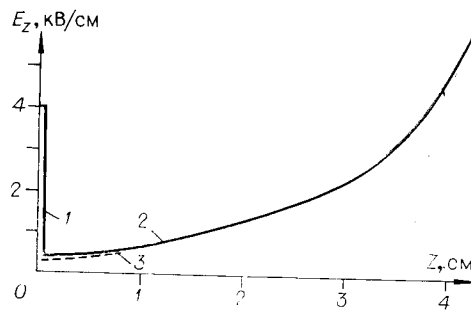


Рис. 5. График напряженности электрического поля на оси прибора ЗИС:
 1 — между фотокатодом и сеткой, 2 — за сеткой при $j \sim 0$, 3 — за сеткой при $j = 10$ мА/см².

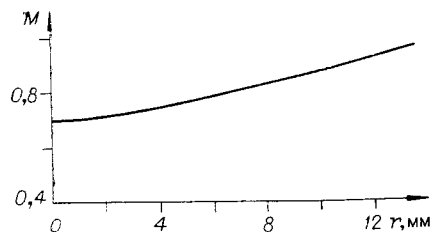


Рис. 6. Зависимость коэффициента дополнительного увеличения от радиуса при $j = 10 \text{ mA/cm}^2$.

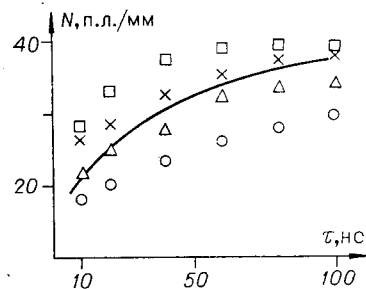


Рис. 7. Зависимость разрешающей способности ЭОП типа ЗИС-1 от длительности затворного импульса.

Для проверки этих предположений был поставлен эксперимент, схема которого приведена на рис. 2. Аналогично тому, как это было в приборах типа ЗИМ [1], в ЭОП ЗИС — «Канал» влияние пространственного заряда характеризуется нелинейностью люкс-амперных характеристик и сопровождается появлением подушкообразной дисторсии и падением пространственного разрешения.

Действительно, на снимках, полученных с помощью ЗИС (рис. 3, а), видны искажения, обусловленные пространственным зарядом (ср. с рис. 3, б). На рис. 4 приведена кривая, показывающая падение разрешения в центре изображения в зависимости от плотности тока j . Эксперимент проводился при следующих условиях: анодное напряжение 16 кВ, напряжение на подфокусирующем электроде 3,5 кВ, амплитуда затворного импульса на сетке 200 В, длительность затворного импульса около 50 нс. При этом удавалось отбирать ток до 100 mA/cm^2 ; тем не менее падение разрешения вдвое происходило уже при плотности тока 1 mA/cm^2 . Столь быстрое падение разрешения при увеличении плотности тока связано с тем, что вблизи сетки (со стороны анода) напряженность электрического поля оказывается достаточно низкой. На рис. 5 показан график напряженности электрического поля на оси прибора, полученный путем расчета на ЭВМ по методике [5]. Исходная напряженность поля в отсутствие пространственного заряда составляет вблизи сетки 370 В/см . Здесь же приведена кривая, характеризующая напряженность поля на оси при плотности тока 10 mA/cm^2 . Видно, что напряженность поля вблизи сетки падает вследствие влияния пространственного заряда.

На рис. 6 приведена зависимость рассчитанного на ЭВМ коэффициента дополнительного увеличения M от радиуса r ($j = 10 \text{ mA/cm}^2$), приводящая к уменьшению изображения в центре и подушкообразной дисторсии. Искажения, видимые на снимках рис. 3, а, качественно соответствуют расчетным.

Для выяснения возможности работы ЭОП типа ЗИС при более коротких выдержках был поставлен эксперимент, схема которого несколько отличалась от представленной на рис. 2*. Тест-объект освещался обычной лампой накаливания, а не импульсной лампой-вспышкой. Отпирающие импульсы малой длительности подавались на сетку с большой частотой (100—150 кГц). Разрешающая способность ЭОП определялась визуальным способом с помощью микроскопа, который устанавливался вместо фотоприставки б. При этом токовая нагрузка фотокатода выбиралась малой, так что влиянием пространственного заряда на качество изображения можно было пренебречь.

Оказалось, что при уменьшении длительности отпирающих импульсов разрешающая способность ЭОП резко падала. Поэтому для промышленного варианта прибора ЛВ-05, который использует ЭОП типа «Канал», в кадровом режиме была рекомендована минимальная длительность экспозиции $\sim 10 \text{ нс}$.

В связи с исследованиями бипланарных ЭОП [6] такая зависимость разрешения от длительности затворного импульса представляется естественной. Действительно, входной затворный узел ЗИС (фотокатод — сетка) можно рассматривать как бипланарный ЭОП на входе, за которым следует обычная иммерсионная линза. В такой конструкции влияние поверхностного сопротивления заключается в основном в увеличении времени установления потенциала по фотокатоду. В исследованных приборах удельное поверхностное сопротивление фотокатода g_0 составляло $10^4 - 10^5 \text{ Ом/□}$. В этом случае характерное время T , по истечении которого потенциал по фотокатоду выравнивается с точностью до 1 %, равно $T = g_0 c R_{\text{max}}^2 \geq 100 \text{ нс}$. (Здесь c — емкость единицы поверхности фотокатода, R_{max} — максимальный радиус фотокатода.) В [6] показано, что при уменьшении длительности затворного импульса

* Этот эксперимент представлял интерес еще потому, что ЭОП типа ЗИС-1 во многом сходен с входным электростатическим каскадом ЭОП типа «Канал».

са амплитуда напряжения фотокатод — сетка после окончания импульса по мере приближения к центру падает. Если длительность затворного импульса ЗИС меньше $0,1 T$, электроны с центральной части фотокатода могут вообще не пройти за сетку, так как в ждущем режиме на сетку подается постоянное отрицательное смещение. Уменьшение энергии электронов, прошедших через промежуток фотокатод — сетка, приводит к смещению плоскости фокусировки и, следовательно, к падению разрешения, причем это падение разрешения происходит довольно быстро при уменьшении длительности затворного импульса. Этот эффект иллюстрируется рис. 7. Поскольку различные экземпляры ЭОП имеют неодинаковую величину поверхностного сопротивления фотокатода, графики $N(\tau_{имп})$ получаются несколько отличающимися, тем не менее общая тенденция к падению разрешения при уменьшении $\tau_{имп}$ выражена достаточно четко. Для уменьшения характерного времени T и связанной с ним минимальной длительности экспозиции до 1 нс необходимо снизить удельное поверхностное сопротивление фотокатода до 10^2 Ом/□.

Бочкообразная дисторсия, типичная для ЗИМ с большим поверхностным сопротивлением фотокатода, в ЗИС отсутствует, поскольку сетка является хорошим проводником и возмущающее поле, которое искажало изображение в случае ЗИМ, за сетку не проникает. Здесь искажения изображения связаны с влиянием пространственного заряда за сеткой, где напряженность электрического поля велика, и дисторсия оказывается явно подушкообразной, как в случае ЗИМ с малым поверхностным сопротивлением фотокатода.

Таким образом, исследованы предельные возможности ЭОП типа ЗИС — «Канал» в кадровом режиме и показано, что искажения изображения обусловлены пространственным зарядом в области за сеткой, где напряженность электрического поля мала, и поверхностным сопротивлением фотокатода, через которое заряжается емкость фотокатод — сетка. В связи с этим требования к поверхностному сопротивлению фотокатода в ЭОП с сеточным затвором оказываются такими же, как в бипланарных приборах.

Авторы признательны сотрудникам ВЦ СО АН СССР В. П. Ильину и Г. С. Поповой, проделавшим на ЭВМ необходимые вычисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко Ю. В., Бударных В. И., Ильин В. П. и др. Электронно-оптические преобразователи в режиме форсированных световых загрузок. — Автометрия, 1974, № 6, с. 7—14.
2. Бондаренко Ю. В., Ганин В. А., Искольдский А. М., Шапиро Ю. А. Расчет влияния фотокатода на качество изображения в электронно-оптических преобразователях. — ЖТФ, 1974, т. XLII, вып. 6, с. 1292—1295.
3. Гвягянен Л. В., Абрамов Б. Г., Барышев Б. А. и др. Опыт создания электронно-оптического преобразователя с сеточным затвором для регистрации быстропротекающих процессов. — Электрон. техника. Сер. 4. Электронно-лучевые и фотоэлектрические приборы, 1968, вып. 5, с. 232—235.
4. Барышев Б. А., Гвягянен Л. В., Диамант Л. М. и др. Напосекундный электронно-оптический фоторегистратор «Канал» с усилителем яркости изображения. — Автометрия, 1974, № 6, с. 53—58.
5. Бондаренко Ю. В., Ильин В. П., Попова Г. С. О численных расчетах траекторий электронов в электронно-оптических преобразователях. — Автометрия, 1974, № 6, с. 15—19.
6. Бондаренко Ю. В., Бударных В. И., Искольдский А. М. и др. Переходные процессы в бипланарных электронно-оптических преобразователях. — ЖТФ, 1979, т. XLIX, вып. 3, с. 618—622.

Поступило в редакцию 19 сентября 1979 г.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В № 4 за 1980 г. замечены следующие опечатки:

| Страница | Строка | Напечатано | Следует читать |
|----------|----------------------|-----------------|-----------------|
| 24 | 15-я (сверху) | $T > T'_c$ | $T > T_c$ |
| 50 | Рис. 6, 3-я (сверху) | сфокусированным | сфокусированным |
| 82 | 10-я (снизу) | Садалпилс | Саласпилс |
| 107 | Рис. 1, 1-я (сверху) | коллекторная | коллекторная |